



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MORELOS
CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

MAESTRÍA EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES

ORIENTACIÓN PROFESIONALIZANTE

Propagación de *Sagittaria macrophylla* zucc. (ALISMATACEAE)
planta acuática en peligro de extinción,
con abonos orgánicos elaborados a base de
lirio acuático

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN MANEJO

DE

RECURSOS NATURALES

P R E S E N T A:

BIO. LANDY MIRANDA GONZALEZ

DIRECTOR

DR. JAIME RAUL BONILLA BARBOSA

CUERNAVACA, MORELOS

JUNIO, 2019

A mí
Linda hija Aínara

*Quisiera decirte
que sea lo que sea
siempre tendrás mi amor.*

No importa que hagas

ó que pienses

ó que digas

siempre podrás

estar segura

que te ayudaré, te guiaré,

seré tu amiga y tu amaré

cada minuto, cada día,

pues ser tu madre es mi felicidad,

pero nunca olvides esta frase...

“Quien eres y hacia dónde quieres llegar en la vida”

AGRADECIMIENTOS

A MI DIRECTOR

A usted le agradezco infinitamente por haberme guiado a lo largo de esta Tesis de Maestría, Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa del Laboratorio de Hidrobotánica, Profesor Investigador del Departamento de Biología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Gracias por todos sus consejos, conocimientos y enseñanza para q esta tesis lograra su objetivo.

A MIS SINODALES

Dr. Rogelio Oliver Guadarrama gracias por sus apreciados comentarios y observaciones durante la elaboración de este estudio.

M. en C. Judith García Rodríguez por sus consejos, observaciones y valiosas sugerencias para el desarrollo y culminación de presente estudio.

M. en C. María Eugenia Bahena Galindo, por haberme enseñado y guiado en la elaboración de los análisis físicos y químicos de los sedimentos, para poder culminar el presente estudio, al igual que sus observaciones y apoyo en la redacción de la presente tesis.

M. en C. Migdalia Díaz Vargas por sus observaciones y revisión del presente estudio.

A mis compañeras de la Maestría en Manejo de Recursos Naturales a la Biol. Denisse Acosta Peñaloza y Biol. Brenda Rendón García, por su apoyo y consejos a lo largo de estos dos años.

A la M. en C. Betzy Santamaría Arauz por haberme orientado y explicado como realizo las compostas de lirio acuático.

RESUMEN

Los humedales y sus especies, están entre los ecosistemas más productivos del planeta, cumpliendo al mismo tiempo funciones ecológicas fundamentales para el ser humano y para otras especies que pueden servir como bioindicadores de la calidad del agua (Blanco, 2000).

Además, juegan un papel importante en el almacenamiento y filtración de agua debido a que funcionan como sistemas reguladores (Zepeda-Gómez *et al.*, 2012),

Sagittaria macrophylla Zucc. y *S. latifolia* Willd., son plantas acuáticas enraizadas emergentes que crecen en los márgenes y zonas poco profundas de cuerpos de agua con escasa a nula velocidad de corriente de agua (Bonilla-Barbosa y Santamaría-Araúz, 2014).

Sagittaria macrophylla es endémica a México, su distribución se restringe a la región del río Lerma y Valle de México (Lot *et al.*, 1999; Zepeda y Lot, 2005).

Debido a la gran problemática que presenta *Sagittaria macrophylla* se pretende propagar utilizando abonos orgánicos hechos a base de lirio acuático (especie de planta acuática invasora libremente flotadora), debido a que el uso de estos abonos orgánicos mantienen y mejoran la disponibilidad de los nutrientes tanto del suelo como el de las plantas y se obtiene mayor rendimiento en la propagación de esta especie (Trinidad-Santos, 2008).

ABSTRACT

Wetlands and their species are among the most productive ecosystems on the planet, while fulfilling fundamental ecological functions for humans and for other species that can serve as bioindicators of water quality (Blanco, 2000).

In addition, they play an important role in the storage and filtration of water because they function as regulatory systems (Zepeda-Gómez *et al.*, 2012),

Sagittaria macrophylla Zucc. and *S. latifolia* Willd., are emergent rooted aquatic plants that grow in the margins and shallow areas of bodies of water with scarce at no speed of water current (Bonilla-Barbosa and Santamaría-Araúz, 2014).

Sagittaria macrophylla is endemic to Mexico, its distribution is restricted to the region of the Lerma River and the Valley of Mexico (Lot *et al.*, 1999, Zepeda and Lot, 2005).

Due to the great problem presented by *Sagittaria macrophylla*, it is intended to propagate using organic fertilizers made from aquatic lily (a species of invasive aquatic plant freely floating), because the use of these organic fertilizers maintain and improve the availability of nutrients from both soil like that of plants and greater yield is obtained in the propagation of this species (Trinidad-Santos, 2008).

INDICE

| | |
|----------------------------------|-----------|
| DEDICATORIA | Pág. i |
| AGRADECIMIENTOS | ii |
| RESUMEN | iii |
| ABSTRACT | iii |
| 1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 2. ANTECEDENTES | 3 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 8 |
| 4. OBJETIVOS | 8 |
| 5. ÁREA DE ESTUDIO | 9 |
| 6. MATERIAL Y MÉTODOS | 14 |
| 7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 21 |
| 8. CONCLUSIONES | 34 |
| 9. LITERATURA CITADA | 35 |
| 10. ANEXOS | 39 |

INDICE DE FIGURAS

| | Pág. |
|--|------|
| Figura 1. <i>Sagittaria macrophylla</i> Zucc. | 3 |
| Figura 2. Consumo de <i>Sagittaria macrophylla</i> Zucc. | 4 |
| Figura 3. Preparación del tubérculo de <i>Sagittaria macrophylla</i> Zucc. | 4 |
| Figura 4. Composición nutricional del tubérculo de <i>Sagittaria macrophylla</i> | 5 |
| Figura 5. Tubérculo de <i>Sagittaria macrophylla</i> . | 7 |
| Figura 6. Localización geográfica A) Canal de agua de Rancho San Dimas (Sitio de Colecta) y B) Xochitla (Sitio de Adaptación de los tubérculos). | 10 |
| Figura 7. Área de propagación de los tubérculos en el Centro de Investigaciones Biológicas | 13 |
| Figura 8. A) Localización del sistema acuático con presencia de <i>Sagittaria macrophylla</i> , B) Colecta de <i>S. macrophylla</i> , C) <i>Sagittaria macrophylla</i> . | 14 |
| Figura 9. Extracción de <i>Sagittaria macrophylla</i> . | 15 |
| Figura 10. Adaptación de <i>Sagittaria macrophylla</i> . | 16 |
| Figura 11. Diseño de los tratamientos, T ₁ (Caballaza con suelo), T ₂ (Vacaza con suelo) T ₃ (Mezcla (Caballaza, Gallinaza, Lirio, Vacaza) con suelo) con sus repeticiones, más el testigo T ₄ (Lirio) | 17 |
| Figura 12.- Porcentajes de los tratamientos | 17 |
| Figura 13. Medición del tubérculo de <i>S. macrophylla</i> (día 0) | 18 |
| Figura 14. Siembra de <i>S. macrophylla</i> día 0. | 19 |
| Figura 15. Métodos de análisis de suelo para los diferentes parámetros físico-químicos realizados | 20 |
| Figura 16. Escalas de pH | 24 |
| Figura 17. A) Tamizado de los suelos, B) Colocación del suelo en H ₂ O y KLC, C) Toma del pH, D) Potenciómetro. | 25 |
| Figura 18. Calcio y Magnesio | 27 |
| Figura 19. Materia Orgánica de los tres tipos de suelo | 28 |
| Figura 20. Análisis de Kruskal-wallis | 32 |

INDICE DE TABLAS

| | Pág. |
|---|------|
| Tabla 1. Densidad aparente y Densidad real. | 22 |
| Tabla 2. Porosidad del suelo. | 23 |
| Tabla 3. Determinación de colores en suelos | 23 |
| Tabla 4. Valor del pH en agua (H ₂ O) y cloruro de potasio (KCl) de los diferentes suelos. | 25 |
| Tabla 5. Valores del Calcio, Magnesio en meq/100 g de la muestra de los diferentes suelos. | 26 |
| Tabla 6. Porcentajes de materia orgánica, carbono y nitrógeno de los diferentes tipos de suelos en donde estuvo <i>S. macrophylla</i> . | 27 |
| Tabla 7. Medida de los tubérculos día 0. | 29 |
| Tabla 8. Tamaño de la planta a los 30 y 60 días. | 30 |
| Tabla 9. Observación de los tratamientos cada 15 días | 31 |
| Tabla 10. Costo de insumos para la propagación de <i>S. macrophylla</i> con las cuatro compostas | 32 |
| Tabla 11. Costos de producción en una tina de 610 Lts. | 33 |
| Tabla 12. Costos de venta | 33 |

ANEXOS

ANEXO 1

| | Pág. |
|--|------|
| Tabla 13. Análisis de Materia Orgánica, carbono, nitrógeno de las compostas de Santamaría (2016) | 39 |
| Tabla 14. Análisis de Calcio y Magnesio de las compostas de Santamaría (2016) | 39 |

ANEXO 2

| | |
|--|----|
| Figura 21. Imágenes del crecimiento de <i>S. macrophylla</i> | 40 |
|--|----|

1. INTRODUCCIÓN

La conservación de la biodiversidad es una de las prioridades mundiales, tanto para los gobiernos como para los científicos y la sociedad en general, debido a que se calcula que al menos la mitad de las especies que habitan en el planeta desaparecerán especialmente por la destrucción de su hábitat (Miranda, 2014).

Los humedales y sus especies, están entre los ecosistemas más productivos del planeta, cumpliendo al mismo tiempo funciones ecológicas fundamentales para el ser humano y para otras especies que pueden servir como bioindicadores de la calidad del agua (Blanco, 2000).

Además, juegan un papel importante en el almacenamiento y filtración de agua debido a que funcionan como sistemas reguladores (Zepeda-Gómez *et al.*, 2012), lo cual se debe a que los tejidos de las hidrófitas, almacenan y liberan agua, por lo que sus características particulares expresan la presencia de diferentes formas de vida en los diferentes ecosistemas acuáticos en donde ellas se desarrollan (Humedales, 2013; Bonilla-Barbosa y Santamaría, 2014).

Sagittaria macrophylla Zucc. y *S. latifolia* Willd., son plantas acuáticas enraizadas emergentes que crecen en los márgenes y zonas poco profundas de cuerpos de agua con escasa a nula velocidad de corriente de agua (Bonilla-Barbosa y Santamaría-Araúz, 2014).

Sagittaria macrophylla es endémica a México, su distribución se restringe a la región del río Lerma y Valle de México (Lot *et al.*, 1999; Zepeda y Lot, 2005). Está catalogada en peligro de extinción de acuerdo con la NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010), debido principalmente a su extracción en el medio natural para el consumo de su tubérculo, como planta ornamental de acuarios, así como por la contaminación de las aguas en donde está planta se desarrolla (Rzedowski, 2001; Zepeda y Lot, 2005), además de que se ha determinado en altas concentraciones la absorción de cromo en el sedimento por el tubérculo de esta especie (González-Acevedo y Lessmann, 2010).

La propagación de especies de plantas acuáticas consideradas en riesgo es un mecanismo de promover su aprovechamiento sin afectar las poblaciones nativas, además de que con ello se podrían reintroducir a los ecosistemas acuáticos en donde ya se ha extirpado (Bonilla-Barbosa y Santamaría, 2014).

Debido a la gran problemática que presenta *Sagittaria macrophylla* se pretende propagar utilizando abonos orgánicos hechos a base de lirio acuático (especie de planta acuática invasora libremente flotadora), debido a que el uso de estos abonos orgánicos mantienen y mejoran la disponibilidad de los nutrientes tanto del suelo como el de las plantas y se obtiene mayor rendimiento en la propagación de esta especie (Trinidad-Santos, 2008).

A su vez, se podría restaurar un suelo a corto, mediano o largo plazo un ecosistema dañado para poder propagar con abonos orgánicos y llevarlo a un estado lo más parecido posible al que estaba

originalmente antes de que fuera perturbado, debido a que las especies y organismos que se propagan vegetativamente y que habitan en ellos hacen que se pueda restablecer más rápido que los tipos de vegetación terrestre (Martínez-Peña *et al.*, 2012).

En este sentido, la propagación de las plantas acuáticas debe considerarse una alternativa más para la conservación de la biodiversidad acuática de nuestro país.

2. ANTECEDENTES

2.1 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA Y MORFOLÓGICA DE *Sagittaria macrophylla* Zucc.

Reino: Plantae

División: Angiospermae

Clase: Monocotiledoneae

Orden: Alismatales

Familia: Alismataceae

Género: *Sagittaria*

Especie: *S. macrophylla* Zucc.

El género *Sagittaria* pertenece a la familia Alismataceae y comprende aproximadamente 25 especies que se distribuyen desde Canadá hasta el sur de Argentina y Chile. En el Valle de México está presente actualmente *S. macrophylla* Zucc. (Miranda, 2014).

Sagittaria macrophylla es una planta acuática, enraizada, emergente, anual, con hojas principalmente elípticas, con el ápice agudo a acuminado, su base generalmente sagitada, pero también puede ser cuneada a obtusa, comúnmente con los dos lóbulos más cortos que la lámina o ser ausentes, su inflorescencia es simple y de color blanco (Figura 1) (Novelo, 2003). Se desarrolla en zanjas, charcas, canales y ecosistemas acuáticos de agua dulce (Rzedowski, 2001).

Esta especie es conocida en México como “cola de pato”, “cucharilla”, “flecha de agua” y “hoja de flecha”.

Crece entre los 2100 y los 2700 msnm, principalmente en la Ciudad de México y los estados de Hidalgo, Jalisco, México y Michoacán (Miranda, 2014).



Figura 1. *Sagittaria macrophylla* Zucc.

2.2 ORIGEN PREHISPÁNICO

En la Historia General de las Cosas de la Nueva España (Miranda, 2014) y en el Códice Florentino (Sahagún, 1926), *Sagittaria macrophylla* está representada iconográficamente en la sección de raíces y tallos comestibles (Figura 2). Es conocida como “cacateztli”, que significa “masa para cocer”. Textualmente le acompaña a este icono lo siguiente: “...hay otra raíz que se llama cacateztli, es redonda, pequeña como grano de maíz, cómase cocida y es sabrosa” (Miranda, 2014).



Figura 2. Consumo de *Sagittaria macrophylla* Zucc.

2.3 *Sagittaria macrophylla* Zucc., COMO RECURSO ALIMENTICIO

Zepeda y Lot (2005) estudiaron la distribución y uso de un recurso alimenticio tradicional y común en la zona de estudio: la “papa de agua”, “apaclol” o “acuitlacpalli” (*Sagittaria macrophylla* Zucc.), de la cual, la parte utilizada es el tubérculo (Figura 3). Una disminución en las poblaciones de la especie ha sido debido a la pérdida del hábitat y a su sobreexplotación (Viesca *et al.*, 2011).

El tubérculo de las “papas de agua”, se recolecta de noviembre a mayo, que corresponde a la época de estiaje, cuando el nivel del agua ha disminuido, por lo que quienes las extraen de su medio natural lo hacen removiendo el sedimento, se venden ya hervidas y cocidas en algunos de los tianguis de la región para consumirlas solas, en los conocidos tacos de plaza o combinadas con otros alimentos (Zepeda y Lot, 2005; Miranda, 2014)



Figura 3. Preparación del tubérculo de *Sagittaria macrophylla* Zucc.

2.3.1 NUTRIENTES DE *Sagittaria macrophylla*

De acuerdo con Zepeda y Lot (2005) realizaron un estudio del uso alimenticio y tradicional de la papa de agua (*S. macrophylla*) de lo cual, la parte utilizada es el tubérculo, la composición química de los tubérculos de *Sagittaria macrophylla* muestra que son ricos en proteína y carbohidratos (Figura 4).

| | Base Seca (%) | Base Húmeda (%) |
|-----------------------------|---------------|-----------------|
| Nutrientes | | |
| Proteína cruda | 17.7 | 8.75 |
| Extracto etéreo | 1.19 | 0.59 |
| Ceniza | 2.81 | 1.39 |
| Fibra cruda | 2.14 | 1.06 |
| Extracto libre de nitrógeno | 76.15 | 37.65 |
| Humedad | - | 50.56 |

Figura 4. Composición nutricional del tubérculo de *Sagittaria macrophylla*

2.4 DEPREDADORES NATURALES DE *Sagittaria macrophylla* Zucc.

Anas diazi es un pato mexicano perteneciente a la familia Anatidae, que es residente y catalogado por la NOM-059-ECOL-2010 como especie amenazada (Escalante *et al.*, 1996; SEMARNAT, 2010). Es especie que alcanza el fondo de los humedales por inclinación, o bien, internándose superficialmente en la columna de agua. En el Estado de México, las ciénegas de la Cuenca Alta del Río Lerma son importante hábitat de residencia para esta especie, además de que en esta zona habitan tanto grupos invernantes como reproductivos (Saunders y Saunders, 1981).

Durante el periodo invernal (otoño-invierno) los patos adoptan una dieta que se compone principalmente de alimentos de origen vegetal como el maíz y otras hierbas consideradas malezas, además de semillas de plantas acuáticas y de tubérculos de la “papa de agua”, *Sagittaria macrophylla* (Colón-Quezada, 2009).

2.5 PROBLEMÁTICA AMBIENTAL

En el Valle de México, ni *Sagittaria macrophylla* ni *S. latifolia* habitan hoy en día en las regiones palustres y lacustres, debido al deterioro ambiental por azolvamiento o contaminantes derivados de la urbanización que poco a poco ha invadido estas regiones. Sin embargo, en la cuenca alta del río Lerma aún se desarrolla *S. macrophylla*, por lo que el uso comestible de los tubérculos de esta hidrófita se restringe a

solamente a esta región geográfica en el Estado de México, donde únicamente los habitantes que viven en los alrededores de esta zona lacustre la consumen y la venden (Miranda, 2014).

La especie está actualmente amenazada y está incluida en la Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010 (SEMARNAT, 2010).

2.6 PROPAGACIÓN

La propagación asexual es uno de los mecanismos importantes que desarrollan las plantas acuáticas. Existe gran variedad de estructuras asociadas a la reproducción asexual, tales como las vegetativas clonales, destacando los estolones, rizomas, tubérculos, la gemación, la fragmentación, entre otros, que propician la formación de nuevos individuos o brotes especializados, los cuales se separan y dispersan de la planta progenitora y les permite flotar hasta establecerse en sitios adecuados para su enraizamiento y desarrollo. Por este método, *ex situ*, se propagan las plantas para proyectos de restauración de humedales, para artesanías, para medicina y para alimento, ya sean en su medio natural o en viveros (Sculthorpe, 1967; Martínez-Peña *et al.*, 2012).

Los tubérculos son tallos subterráneos, adaptados especialmente para la adquisición de recursos y almacenamiento, y se diferencian porque no presentan disco basal del que salen raíces, sino que tienen yemas (apicales y laterales) que producen otros tallos con raíces adventicias, y en la región lateral estolones horizontales (Martínez-Peña *et al.*, 2012), tal y como sucede con *Sagittaria macrophylla* (Sculthorpe, 1967).

2.6.1 PROPAGACIÓN VEGETATIVA

La propagación vegetativa es la producción de una planta a partir de una célula, un tejido, un órgano o parte de una planta madre. Para la formación de nuevos individuos de *Sagittaria macrophylla* fue a través de la propagación de estructuras vegetativas como los tubérculos que son tallos modificados y engrosados donde se acumulan sustancias de reserva (Botánica, 2016).

2.6.1.1 TUBÉRCULOS

Para *Sagittaria macrophylla*, son estructuras ovoides o esféricas, suculentas, que actúan como reservas de almidón. Los tubérculos presentan en su superficie nudos con hojas escamosas, arreglados de manera espiral y cada uno de ellos consta de una o más yemas pequeñas. Cuando se inicia el crecimiento del vástago principal, las raíces adventicias se desarrollan en la base del tubérculo y las yemas horizontales se alargan (Figura 5) y producen nuevos tubérculos a través de los estolones (Bonilla-Barbosa *et al.*, en prensa).



Figura 5. Tubérculo de *Sagittaria macrophylla*.

2.7 ABONOS ORGANICOS

Los abonos orgánicos son todos aquellos residuos de origen animal y vegetal de los que las plantas a propagarse pueden obtener importantes cantidades de nutrimentos; el suelo con descomposición de estos abonos, se ve enriquecido con carbono orgánico y mejora sus características físicas, químicas y biológicas (Trinidad-Santos, 2008).

La utilización de abonos orgánicos aumenta la cantidad de los nutrientes necesarios que requieren las plantas para su crecimiento, comprende dieciséis elementos y éstos provienen del aire y del suelo circundante, algunos de los elementos son: carbono (C), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), azufre (S), hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (World Fertilizer, 1992).

2.7.1 IMPORTANCIA DE LOS ABONOS ORGÁNICOS

El abono orgánico es muy valioso debido a que mejora las condiciones del suelo en general, la materia orgánica renueva la estructura del suelo, reduce la erosión del mismo, tiene un efecto regulador en la temperatura del suelo y le ayuda a almacenar más humedad, mejorando significativamente de esta manera su fertilidad. Además la materia orgánica es un alimento necesario para los organismos del suelo (World Fertilizer, 1992)

2.8 NUTRIENTES DE LOS ABONOS ELABORADOS A BASE DE LIRIO ACUÁTICO

La concentración de calcio y magnesio se ve favorecida porque el pH en los materiales orgánicos presenta fluctuaciones de neutro a ligeramente alcalino, favoreciendo el aumento de los bicarbonatos, lo que permite el desarrollo de las plantas que aprovechan el bicarbonato como fuente de carbono en el proceso fotosintético (Bonilla-Barbosa, 1992).

El calcio lo utilizan las plantas para construir su pared celular en especial en donde las células se dividen más rápidamente como lo son las raíces y los extremos de los retoños, juega un papel en la formación de las proteínas y el movimiento de hidratos de carbono, y controla el pH del suelo o del sedimento (Bonilla-Barbosa, 1992; Santamaría, 2016). El magnesio cuando es deficiente ocasiona que las plantas tengan menos resistencia a la sequedad, al frío y a las enfermedades (Santamaría, 2016).

El fósforo es una parte importante de las compostas, debido a que promueve la floración y fructificación y contribuye a la formación de tallos fuertes y vigorosos, además de que estimula el crecimiento de las plantas. El potasio es necesario para el crecimiento adecuado de las raíces y de los tubérculos (Santamaría, 2016).

3. JUSTIFICACIÓN

En México, las plantas acuáticas como *Sagittaria macrophylla*, tienen importancia histórica, cultural y ecológica. Sin embargo, podrían llegar a estar en peligro de desaparecer a corto o mediano plazos, debido al deterioro o modificación de su ambiente acuático y a su sobreexplotación

Considerando que son un patrimonio nacional y que algunas de ellas como *S. macrophylla* están incluidas en la categoría de Amenazada y es endémica, el significado del presente estudio es propagarla con sustratos orgánicos a base de lirio acuático, y con ello el rescate y conservación de la flora acuática mexicana.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Propagar a *Sagittaria macrophylla* con diferentes abonos orgánicos a base de lirio acuático, *Eichhornia crassipes*.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- 1.- Analizar física y químicamente el sedimento del medio natural y del sitio de adaptación de *S. macrophylla* mediante la NOM-021-SERMARNAT-2000.
- 2.- Comparar el efecto de diferentes mezclas de abono orgánico en la propagación de *S. macrophylla*, utilizando como sustrato la composta a base lirio acuático.
- 3.- Analizar los costos de producción del abono orgánico en la propagación de *S. macrophylla*, utilizando como sustrato al lirio acuático.

5. ÁREA DE ESTUDIO

Para llevar a cabo la presente investigación se determinaron tres áreas de estudio, la primera: sitio de colecta, la segunda: área de adaptación y la tercera: el área de propagación; dado esto por las condiciones climáticas que presenta estas áreas y que son la que requiere la especie para su adaptación y propagación.

5.1 ÁREA DE COLECTA

El canal de agua de Rancho San Dimas se localiza al Norte de la cabecera del municipio de San Antonio la Isla, forma parte de la región metropolitana del Valle de Toluca, en el Estado de México, entre los 19° 17' 65" LN y 99° 56' 24" LO (Figura 6) a una altitud de 2585 msnm, colinda al este con la Unidad Habitacional San Dimas (Secretaría de Desarrollo Urbano, 2015).

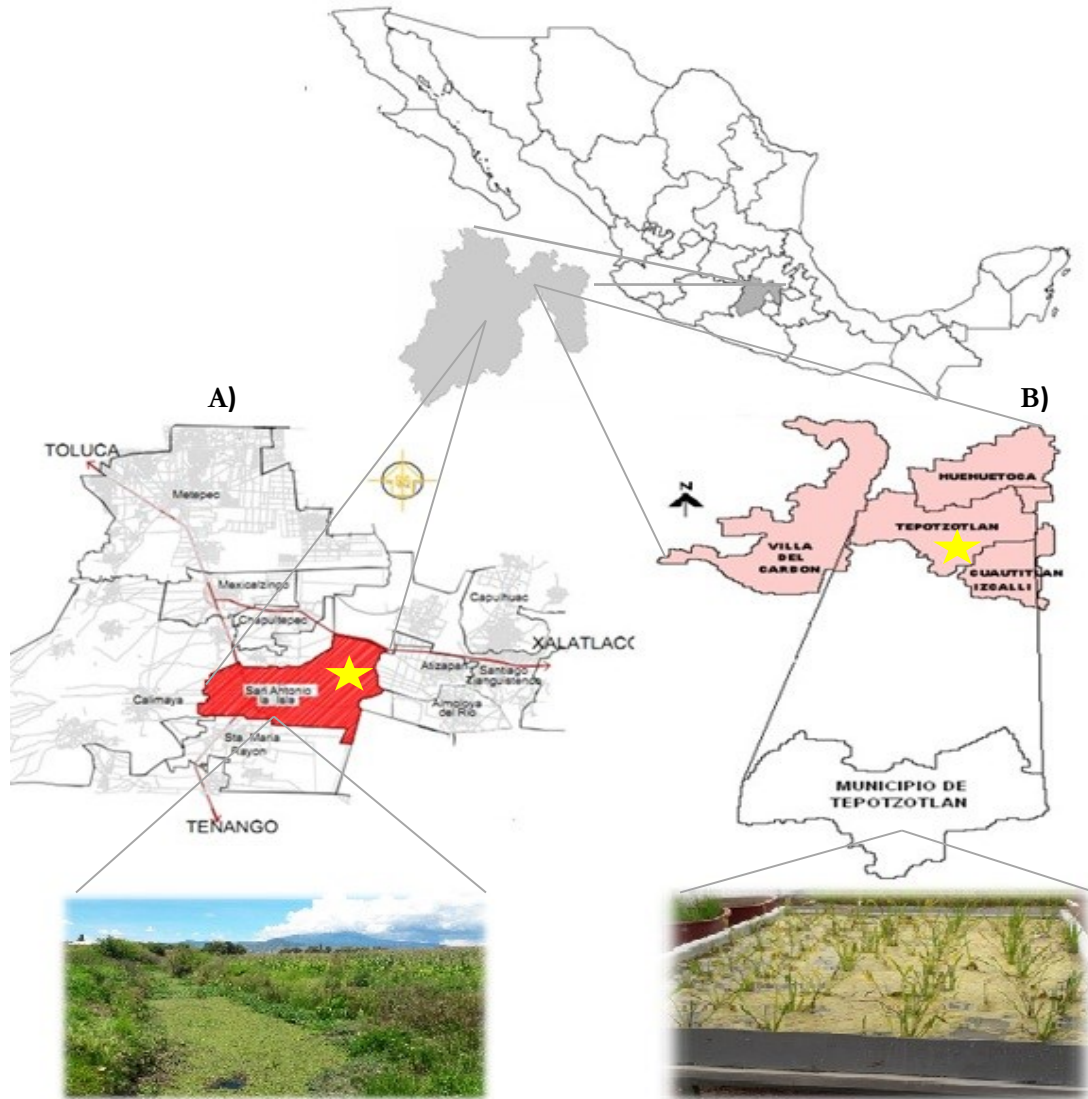


Figura 6. Localización geográfica A) Canal de agua de Rancho San Dimas (Sitio de Colecta) y B) Xochitla (Sitio de Adaptación de los tubérculos).

5.1.1 CLIMA

El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, su precipitación invernal, la ocurrida en los meses de enero, febrero y marzo, corresponde a menos del 5% de la lluvia total anual, mayor de 700mm. El clima más importante de la entidad, de ésta ocupa el 46.7%, el cual está distribuido por casi todo el estado, donde se ubica el municipio de San Antonio la Isla, la temperatura media anual varía de 12 a 18 °C (INEGI, 2001).

5.1.2 HIDROLOGÍA

El Estado de México está conformado por tres regiones importantes: RH-12 de Lerma- Santiago, RH-18 del Balsas y RH-26 del Pánuco.

El río Lerma constituye uno de los sistemas hidrológicos más importantes del país. Recorre un total de 1180 km desde su origen en un lago ubicado en el municipio de Almoloya del Río, hasta su desembocadura en el Océano Pacífico, sin incluir el paso por las aguas del lago de Chapala. De esta extensión, 60% corresponde al río Lerma y el 40% al río Santiago. Dentro del Estado de México se ubica parte de la cuenca (A), Río Lerma- Toluca (INEGI, 2001). La Región Hidrológica Río Lerma- Santiago (RH-12) se ubica al centro y occidente de la República Mexicana. El área de estudio se localiza al centro-noroeste de la entidad, colinda al norte con el estado de Querétaro y con la RH-26; al sur con la RH-18, al Este con la RH-26 y el Distrito Federal; y al Oeste con la RH-18 y el estado de Michoacán. Es drenada por una serie de corrientes perennes y subcolectores intermitentes que tienen un patrón de drenaje dendrítico, y en algunos sitios la red hídrica es radical, su dirección de escurrimiento es de sureste a noroeste (INEGI, 2001).

5.1.3 VEGETACIÓN

La vegetación en el área de estudio está incluida dentro del Reino Holártico, Región Mesoamericana de Montaña y Provincia de las Serranías Meridionales (Rzedowski, 2006).

La Provincia de las Serranías Meridionales incluyen el Eje Volcánico Transversal, que corre de Jalisco y Colima a Veracruz; la Sierra Madre del Sur que incluye a Michoacán y Oaxaca; y el complejo montañoso del norte de Oaxaca. Los bosques de *Pinus* y *Quercus* tienen en esta provincia una importancia equiparable y son los que predominan. La entidad incluye las elevaciones más altas de México, así como muchas áreas montañosas aisladas, cuya presencia propicia el desarrollo de muy numerosos endemismos. A este respecto, en el ámbito genérico, son ejemplos: *Achaenipodium*, *Hintonella*, *Microspermum*, *Omitelia*, *Peyritschia* y *Silvia*, que forman parte de los diferentes tipos de vegetación presentes en San Antonio la Isla (Rzedowski, 2006).

La vegetación acuática que existe en gran variedad de especies de plantas acuáticas que tienen áreas de distribución restringidas, amplias o muy amplias, debido a la tolerancia a los factores ambientales por lo que pueden desarrollarse en variadas condiciones ambientales indispensables para su existencia tales como temperatura, luminosidad, pH, salinidad, pureza, concentración de oxígeno, entre otros. La vegetación de las aguas cálidas y las frías, de las dulces y saladas, de las corrientes y las estancadas, de las claras y las turbias, de los fondos arenosos, arcillosos o rocosos, están representadas por *Typha domingensis*, *T. latifolia* o *Schoenoplectus californicus* (Rzedowski, 2006).

5.2 ÁREA DE ADAPTACIÓN DE LOS TUBERCULOS

El área de adaptación de *Sagittaria macrophylla* se realizó en las instalaciones de la Fundación Xochitla, que es una asociación civil sin fines de lucro que no recibe apoyos económicos por parte del gobierno y su principal objetivo es desarrollar y preservar; está ubicado en el municipio de Sultepec, Tepetzotlán, Estado de México (Figura 6), con una altitud de 1100 msnm, entre las coordenadas 18° 37' 53.8" latitud N y 96° 58' 10.99" longitud O.

5.2.1 VEGETACIÓN DE LA FUNDACIÓN XOCHITLA

La vegetación de los jardines botánicos de la fundación Xochitla, son considerados un santuario de la naturaleza, que hoy en día conserva más de 124 especies de plantas nativas de la zona centro del país divididas en tres colecciones botánicas: “El jardín de plantas acuáticas Xochitla” el cual recrea los paisajes lacustres de la época prehispánica y resguarda 18 especies de plantas acuáticas agrupadas según su uso: alimenticio, medicinal, ceremonial (*Nymphaea mexicana*), artesanal, o para la construcción.

La “Colección de Plantas Silvestres Nativas Ornamentales” que incluye a más de 40 especies como Salvias, Oceloxóchitl y Dalias (*Dahlia tenuicaulis*) que por su belleza pueden utilizarse como plantas ornamentales en jardinería.

Y un “Arboretum” formado por más de 700 árboles como encinos, pinos y cedros. Entre la flora que resguarda el Jardín Botánico de la Fundación Xochitla, destacan 32 especies consideradas en la categoría de riesgo, como *Quercus hintonii*.

Con el paso del tiempo el Jardín Botánico de la Fundación Xochitla, también se ha convertido un refugio para más de 200 especies de fauna nativa como patos, lechuzas, murciélagos, tlacuaches, cincuates, ranas y una gran diversidad de insectos (Xochitla, 2018).

5.3 ÁREA DE PROPAGACION DE LOS TUBERCULOS

La propagación de *Sagittaria macrophylla* se realizó en las instalaciones del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB) de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos (Figura 7), ubicado en la Universidad Autónoma del Estado de Morelos, Cuernavaca, Morelos, con una altitud de 1823 msnm, entre las coordenadas 18°59'07.3" latitud N y 99°14'15.3" longitud O.

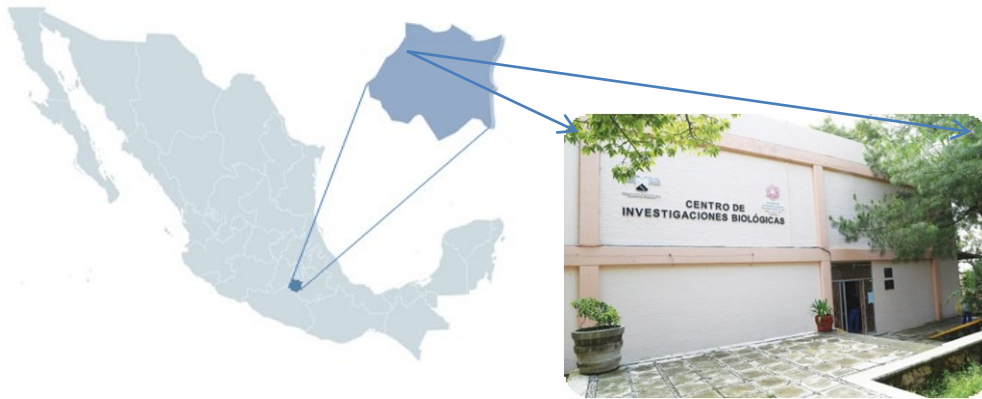


Figura 7. Área de propagación de los tubérculos en el Centro de Investigaciones Biológicas.

5.3.1 CLIMA

El estado de Morelos se caracteriza por una gran diversidad climática, uno de ellos es el clima Templado subhúmedo.

Este tipo climático presenta lluvias en verano; es el más húmedo de los subhúmedos, con temperatura media anual entre 5 y 12°C, con verano fresco y largo, siendo los meses más cálidos Abril Mayo, Enero el más frío.

Se localiza al norte de la entidad a una altitud de 1 400 a 2 000 msnm y comprende varios municipios de los cuales Cuernavaca es parte de ellos, este tipo de clima ocurre en el 10% de la superficie del estado (CONABIO y UAEM, 2004)

5.3.2 VEGETACIÓN

El estado de Morelos posee una gran diversidad ambiental, la cual ha dado lugar al establecimiento de siete tipos de vegetación; en esta entidad se reconocen los siguientes: bosque de coníferas, bosque de quercus, bosque mesófilo de montaña, bosque tropical caducifolio, pastizal, zacatonal, bosque de galería y vegetación acuática (Bonilla-Barbosa y Villaseñor, 2003).

6. MATERIAL Y MÉTODOS

Para el desarrollo del proyecto se llevó a cabo en 2 fases:

6.1 FASE I. CAMPO:

6.1.1 SELECCIÓN DE TUBERCULOS EN CAMPO

Las técnicas básicas de selección y colecta de material botánico que se extrajo de Rancho San Dimas, Toluca, Edo. de México, consistió en los siguientes puntos (Webb *et al.*, 2013):

- 1) Se localizaron los sistemas acuáticos que presentaran poblaciones de *S. macrophylla* (Figura 8)
- 2) Posteriormente se observaron y seleccionaron los tubérculos de individuos que mostraron características óptimas de crecimiento y robustez



A)



B)



C)

Figura 8. A) Localización del sistema acuático con presencia de *Sagittaria macrophylla*, B) Colecta de *S. macrophylla*, C)

6.1.2 EXTRACCIÓN DE LOS TUBERCULOS

La extracción de *Sagittaria macrophylla* se realizó en Rancho San Dimas, Toluca, Edo. de México, del cual se extrajeron 30 tubérculos, utilizando una pala tipo cuchara para no dañarlos y extraerlos con toda y raíz (Figura 9), posteriormente se colocaron dentro de una cubeta de 4 lt con agua del mismo sitio, se cubrieron con una tapa, para evitar que sufrieran estrés; fueron trasladados al sitio de adaptación (Xochitla).

De igual manera se extrajeron aproximadamente 4 kg de sedimento y fueron depositados en una cubeta y fue cubierta con una tapa; este sedimento fue extraído para realizarle los análisis fisicoquímicos de la parte de fertilidad de suelos mencionada en la NOM-021-SEMARNAT-2000.



Figura 9. Extracción de *Sagittaria macrophylla*.

6.1.3 ADAPTACIÓN DE LOS TUBERCULOS

Para su adaptación después de la extracción fueron colocados en una tina de 2 mts de largo por 1 mts de ancho, con una base de sedimento previamente preparado, y se le agregó agua hasta que los tubérculos quedaran inundados. Los tubérculos permanecieron por 2 meses en el sitio de adaptación bajo invernadero y condiciones controladas de temperatura (Figura 10) que va de los 10- 15 °C.

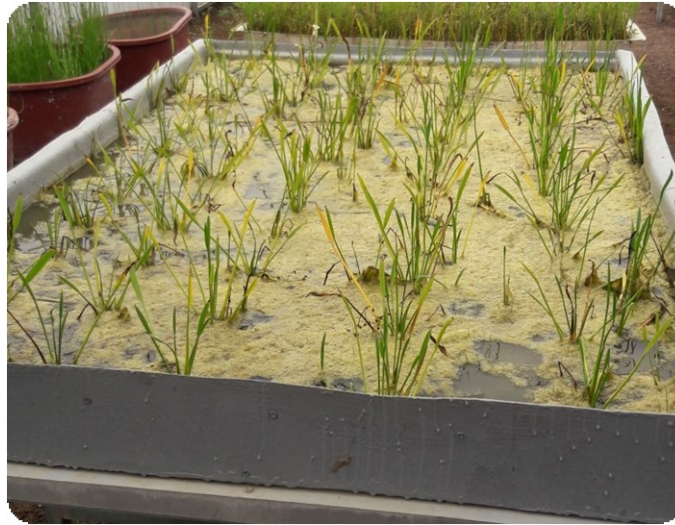


Figura 10. Adaptación de *Sagittaria macrophylla*.

6.1.3.1 PROPAGACIÓN DE LOS TUBÉRCULOS

Una vez adaptados, los ejemplares fueron trasladados al Invernadero del Centro de Investigaciones Biológicas, campus Chamilpa de la Universidad Autónoma del Estado de Morelos para la propagación. Para llevar a cabo el proceso se utilizó una composta como propagador hecho a base de lirio acuático *Eichhornia crassipes*, realizada por Santamaría (2016), la cual consistió en los siguientes pasos:

A) MODO DE PREPARACIÓN DE LAS COMPOSTA

De acuerdo con Santamaría (2016), los lirios acuáticos fueron triturados con machetes, obteniendo una granulometría de tamaño comprendido entre uno a cinco centímetros de grosor, adicionando estiércoles de distintos animales, de las cuales obtuvo las siguientes mezclas:

- 1.- 25 kg de *E. crassipes* y 25 kg de caballaza.
- 2.- 25 kg de *E. crassipes* y 25 kg de vacaza.
- 3.- 12.5 kg de *E. crassipes*, 12.5 kg de gallinaza, 12.5 kg de vacaza y 12.5 kg de caballaza.
- 4.- 50 kg de *E. crassipes*

B) MEZCLA DEL PROPAGADOR

Se realizó una mezcla: 30% de composta 40% de Suelo de bosque y 30 % de grava para los tratamientos (T₁, T₂, T₃) para el T₄ solo se utilizó 70% de composta y 30% de grava (Figura 12),

tomando como base que solo era composta de lirio acuático sin ningún estiércol adicionado. Cada mezcla se colocó en tinas de 44 cm de diámetro y una altura de 15 cm, en un diseño de bloques al azar (Figura 11) con cuatro tratamientos y tres repeticiones utilizando como testigo en T₄. Fue necesario hidratar dicha mezcla, por lo que se les agregó 8 litros de agua cada tercer día a las tinas para que todos los tratamientos se comportaran de forma similar en la liberación de nutrientes, cabe señalar que cada uno presenta características diferentes por lo que algunos llegaban a su punto de saturación con menos agua pero se les dio a todos el mismo tratamiento para disminuir el grado de error. Se dejó reposar 15 días.



Figura 11. Diseño de los tratamientos, T₁ (Caballaza con suelo), T₂ (Vacaza con suelo) T₃ (Mezcla (Caballaza, Gallinaza, Lirio, Vacaza) con suelo) con sus repeticiones, más el testigo T₄ (Lirio)

| TRATAMIENTOS | GRABA | SUELO DE BOSQUE | COMPOSTA |
|----------------|-------|-----------------|----------|
| T ₁ | 30% | 40% | 30% |
| T ₂ | 30% | 40% | 30% |
| T ₃ | 30% | 40% | 30% |
| T ₄ | 30% | - | 70% |

Figura 12.- Porcentajes de los tratamientos

C) SELECCIÓN DE TUBÉRCULOS PARA LA PROPAGACIÓN

Después de la adaptación y antes de iniciar con la propagación se sacaron y se tomaron datos botánicos de los tubérculos (Figura 13), tales como:

- Diámetro del tubérculo
- Tamaño de la hoja (si hay presencia)

- c) Altura de la planta
- d) Tamaño de la raíz



Figura 13. Medición del tubérculo de *S. macrophylla* (día 0)

C) CONSIDERACIONES PARA SIEMBRA DE LOS TUBÉRCULOS EN EL PROPAGADOR

Se realizó la siembra colocando 2 tubérculos por tina a una distancia de 15 cm cada uno (Figura 14); tomando en cuenta las siguientes indicaciones (Webb *et al.*, 2013):

- a) La consideración principal es que las raíces de los tubérculos deben ser colocados con cuidado para que puedan penetrar la composta.
- b) Colocar 2 tubérculos en cada tina, a una distancia de 15 cm.
- c) Los tubérculos fueron colocados a una profundidad de 5cm.
- d) Para asegurar que queden firmes, es necesario compactar con las yemas de los dedos un poco el propagador de enraizamiento.
- e) Se obtuvieron 6 tubérculos por tratamiento haciendo un total de 24 individuos para el experimento



Figura 14 . Siembra de *S. macrophylla* día 0.

D) OBSERVACION Y CONTEO DE NUEVOS TUBÉRCULOS

Para realizar el conteo de los nuevos tubérculos y plántulas producidas, es necesario descubrir el tubérculo con las yemas de los dedos para poder observar la presencia de estolones, teniendo la precaución de no abrir tanto para no dañar la raíz, esto se realizó cada quince días.

E) EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DE *S. macrophylla*

La temperatura ambiente se tomó cada 15 días, por medio de un termómetro con unidades de medida en grados centígrados (°C), desde el inicio de la propagación hasta que se cumplió el periodo de término del experimento tomando como base la metodología de Santelices (1998) y Alcaraz (2012).

6.2 FASE II. LABORATORIO

6.2.1 ANÁLISIS QUÍMICOS Y FÍSICOS DEL SEDIMENTO, SUELO DE BOSQUE Y TRATAMIENTOS

Se tomó como base la NOM-021 SEMARNAT (2000). Bajo los siguientes parámetros (Figura 15):

| DETERMINACIÓN | MÉTODO | REFERENCIA |
|----------------------|--|----------------------------|
| Color del Suelo | Comparación de Color (Carta Munsell) | Munsell (1992) |
| Densidad Aparente | Volumétrico (por el método de la probeta) | Domínguez y Aguilar (1982) |
| Densidad Real | Volumétrico (por el método del picnómetro) | Domínguez y Aguilar (1982) |
| pH | Potenciómetro (relación 1:2.5 con agua destilada y KCL) | Goijberg y Aguilar (1987) |
| Materia Orgánica | Método de combustión húmedo de Walkley y Black | Jackson (1982) |
| Nitrógeno | Kjeldahl (Digestión ácida y oxido-reducción) | Jackson (1982) |
| Carbono | Constante de Jackson (a partir de la materia orgánica) | Jackson (1982) |

Figura 15. Métodos de análisis de suelo para los diferentes parámetros físico-químicos realizados

6.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó un análisis con una prueba no paramétrica de Kruskal-wallis (William y Wallis, 1952), el cual nos permite resolver datos, en donde las muestras son aleatorias e independientes, extraídas de dos poblaciones, para averiguar si presentan diferencias significativas o no, se realizó con el programa de Statistic 7.0

7. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 ETAPA DE LABORATORIO

Se llevó a cabo el análisis de los sedimentos del suelo (Rancho San Dimas, Xochitla, Suelo de Bosque y de los tratamientos (mezcla del propagador), se transportaron al Laboratorio de Edafoclimatología del Departamento de Biología Vegetal del Centro de Investigaciones Biológicas (CIB-UAEM), para realizarles los análisis pertinentes.

7.2.1 ANÁLISIS FÍSICO- QUÍMICO DEL SUELO Y DE LOS TRATAMIENTOS

a) Densidad Aparente y Densidad Real

La densidad aparente es una medida común importante en la relación entre los sólidos y los poros. Se define la masa de suelo que ocupa una unidad de volumen. Los suelos compactos están relacionados con elevadas densidades aparentes y en cuyo caso la penetración radical se ve registrada (Castellanos, 1982). Esta determinación además de depender de la textura del suelo, depende en gran parte de su contenido de humedad pues los suelos se contraen y se expanden conforme se secan o se humedecen; independientemente de la textura, el contenido de materia orgánica tiene una influencia importante sobre la densidad aparente (D_a) del mismo (FAO, 2019).

La densidad aparente (D_a) para Rancho San Dimas es de 1.20 g/ml, para Xochitla 1.36 g/ml y para el Suelo de Bosque de 1.21 g/ml mientras que los valores para los tratamientos del propagador fueron menores a 1g/ml de densidad aparente lo que nos indica la relación que existe entre la cantidad de materia orgánica que se agrega, ya que los valores son menores debido a la diferencia de peso y se vuelve menos densa (Bukman y Brady, 1996). Por otro lado Unger y Kaspar (1994) nos indican que entre mayor sea la D_a del suelo se observa un menor desarrollo de raíces ya que se ven afectados por el nivel de compactación del suelo.

La densidad real (D_r) varía de acuerdo al tipo de mineral de la materia madre y la cantidad de materia orgánica del suelo y se entiende como la cantidad de masa de sólidos que existe por unidad de volumen. Es útil para la determinación precisa de los porcentajes granulométricos textura, (Gandoy, 1991). En cuanto a los valores de densidad real, estos serán siempre mayores que los de la densidad aparente ya que aquí solo participa la masa de sólidos sobre el volumen de estos mismos (Henriquez y Cabalceta, 1999).

De acuerdo con lo descrito anteriormente la densidad real (D_r) para los suelos de Rancho San Dimas y Xochitla son de 2.38 g/ml y para el Suelo de bosque es de 1.72 g/ml poseen un alto

contenido de materia orgánica. Considerando que la mayor parte de los componentes del suelo poseen una densidad oscilante entre 2,65 g/cm³, si la Dr es inferior a 2,65 g/cm³, podemos pensar que el suelo posee un alto contenido de materia orgánica (Thompson y Troeh, 2002), lo cual concuerda con los resultados arrojados de los tratamientos que oscilan entre 1.88 y 2 g/ml.

Tabla 1. Densidad aparente y Densidad real

| | Da | Dr | |
|--------------------------|------------------------|---|----------------------|
| SUELO | | | |
| Rancho San Dimas | 1.20 g/cm ³ | 2.38 g/cm ³ | |
| Xochitla | 1.36 g/cm ³ | 2.38 g/cm ³ | |
| Suelo de Bosque | 1.21 g/cm ³ | 1.72 g/cm ³ | |
| TRATAMIENTOS | | | |
| T ₁ | 0.63 g/cm ³ | 2 g/cm ³ | |
| T ₂ | 0.59 g/cm ³ | 2 g/cm ³ | |
| T ₃ | 0.61 g/cm ³ | 2.27 g/cm ³ | |
| T ₄ | 0.64 g/cm ³ | 1.85 g/cm ³ | |
| T ₁ Caballaza | T ₂ Vacaza | T ₃ Mezcla (Caballaza, gallinaza, lirio, vacaza) | T ₄ Lirio |

b) Porosidad

El espacio poroso de un suelo es la parte del mismo que en su estado natural está ocupado por aire y/o agua. El volumen de este espacio poroso depende mucho de la disposición de las partículas sólidas. La importancia agrícola de la porosidad del suelo es muy grande y sus características dependen de la textura, estructura, contenido de materia orgánica, tipo e intensidad de cultivos, labranza y otras propiedades del suelo y su manejo.

Este valor se expresa normalmente como un porcentaje y es conocido como la porosidad. La porosidad se calcula en base a los resultados de la Densidad aparente y Densidad real. El volumen del suelo está constituido por 50% materiales sólidos (45% minerales y 5% materia orgánica) y 50% de espacio poroso. Dentro del espacio poroso se pueden distinguir macro poros y micro poros, donde el agua, nutrientes, aire y gases pueden circular o retenerse (FAO, 2019). El valor más bajo es para el Suelo de bosque con un 29.7 % de porosidad, y el valor más alto fue para Rancho San Dimas de 49.6%, mientras que para Xochitla fue de 42.9% (Tabla 2).

Tabla 2. Porosidad del suelo

| POROSIDAD % | |
|---------------------|------|
| SUELO | |
| Rancho San Dimas | 49.6 |
| Xochitla | 42.9 |
| Suelo de Bosque | 29.7 |
| TRATAMIENTOS | |
| T ₁ | 68.5 |
| T ₂ | 70.5 |
| T ₃ | 73.2 |
| T ₄ | 65.5 |

c) Color

El color del suelo depende de sus componentes y varía con el contenido de humedad, materia orgánica presente y grado de oxidación de minerales (FAO, 2019). Para la determinación de los colores se observa un cambio notorio de seco a húmedo (Tabla 3), los suelos húmedos o mojados presentan un tono más oscuro que los secos, la razón es que entre más materia orgánica contenga más oscuro es (Antúnez *et al*, 2015); por lo que los colores de los diferentes suelos (sedimentos y suelo de bosque) se comportaron de la siguiente manera, en seco van de gris a pardo grisáceo oscuro, mientras que en húmedo de gris oscuro a pardo grisáceo oscuro y los tratamientos usados para el propagador pasan de pardo grisáceo oscuro a negro acentuándose el color por la cantidad de materia orgánica adicionada.

Tabla 3. Determinación de colores en suelos

| | COLOR EN SECO | COLOR EN HÚMEDO |
|---------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| SUELO | | |
| Rancho San Dimas | 10YR 5/2 pardo grisáceo | 10YR 4/2 pardo oscuro grisáceo |
| Xochitla | 10YR 5/1 gris | 10YR 3/1 gris oscuro |
| Suelo de Bosque | 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro | 10YR 2/1 pardo oscuro |
| TRATAMIENTOS | | |
| T ₁ | 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro | 10YR 2/1 Negro |

| | | |
|----------------|------------------------------------|----------------|
| T ₂ | 10YR 4/2 pardo grisáceo oscuro | 10YR 2/1 Negro |
| T ₃ | 10YR 4/3 pardo | 10YR 2/1 Negro |
| T ₄ | 10YR 3/2 pardo grisáceo muy oscuro | 10YR 2/1 Negro |

T₁ Caballaza T₂ Vacaza T₃ Mezcla (Caballaza, gallinaza, lirio, vacaza) T₄ Lirio

d) pH

El pH es una característica química de suma importancia por su relación con la fertilidad, las poblaciones de organismos y con algunas propiedades físicas del suelo; la determinación de la concentración se da por la cantidad de iones hidronio (H⁺) e iones hidroxilo (OH⁻) (Henríquez y Cabalceta, 1991) está estrechamente relacionado con el clima; en las zonas de lluvia escasa, donde el escurrimiento e infiltración no se produce o tiene lugar en una escala muy reducida, se origina paulatina acumulación de sales que da lugar a la alcalinidad del suelo; por lo contrario en climas lluviosos originan suelos ácidos debido al lixiviado que efectúa la abundancia de agua cuando escurre o se filtra (Aguilar, 1972). También se debe agregar la relación con la fertilidad las poblaciones de microorganismos y con algunas otras propiedades físicas en el suelo. Por lo que los resultados concuerdan con dichos autores ya que nos muestran los cambios ocurridos del sitio de colecta (Rancho San Dimas) con valores entre 6.11 y 5.83 y el Suelo de bosque (comprado) con 6.94 y 6.43 clasificados como ligeramente ácidos y el sitio de adaptación (Xochitla) en las soluciones de H₂O y KCl que van dentro de los rangos de moderadamente alcalino (Figura 16) con 8.75 a medianamente alcalino con 7.83 (Tabla 4) (Figura 17). Mientras que la mezcla del propagador se ve asociado a la presencia de materia orgánica de acuerdo con Osorio (2012) ya que todas las mezclas se encuentran en los valores de ligeramente ácidos, simulando el ambiente natural de donde se extrajo *S. macrophylla*.



Figura 16. Escalas de pH

Tabla 4. Valor del pH en agua (H₂O) y cloruro de potasio (KCl) de los diferentes suelos.

| pH del Suelo | | |
|------------------|------------------|------|
| SUELO | H ₂ O | KCl |
| Rancho San Dimas | 6.11 | 5.83 |
| Xochitla | 8.75 | 7.83 |
| Suelo de Bosque | 6.94 | 6.43 |
| TRATAMIENTOS | | |
| T ₁ | 6.25 | 6.20 |
| T ₂ | 6.90 | 6.63 |
| T ₃ | 6.34 | 6.22 |
| T ₄ | 7.45 | 7.03 |

T₁ Caballaza

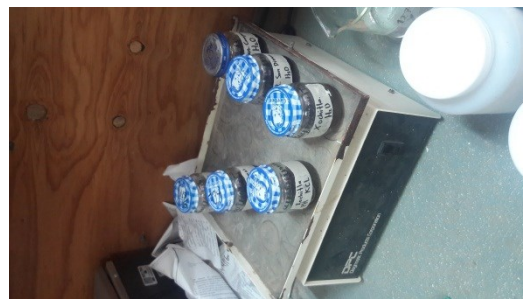
T₂ Vacaza

T₃ Mezcla (Caballaza, gallinaza, lirio, vacaza)

T₄ Lirio



A)



B)



C)



D)

Figura 17. A) Tamizado de los suelos, B) Colocación del suelo en H₂O y KCl, C) Toma del pH, D) Potenciómetro.

e) Contenido de Calcio y Magnesio

Los suelos de regiones lluviosas tienden a tener valores de pH muy bajos (≤ 5.0) y acompañado a esto hay una tendencia a tener baja disponibilidad de calcio, magnesio y potasio. Osorio (2012), señala que para los suelos que presentan un pH de 5.5-6 que es moderadamente ácido, no se espera la toxicidad por Aluminio (Al); pero si una mayor disponibilidad de Fósforo (P), Azufre (S), molibdeno (Mo) y bases.

Los nutrientes secundarios de calcio y magnesio suelen agruparse con los macronutrientes (nitrógeno, fósforo y potasio) debido a que las plantas utilizan los nutrientes secundarios en grandes cantidades. El calcio es un nutriente esencial para las plantas. Algunas de sus funciones son, promover el alargamiento celular, participa en los procesos metabólicos de absorción de otros nutrientes. En cambio el Mg^{+} interviene en la fotosíntesis y en las moléculas de la clorofila (Pizarro *et al*, 2016). Al relacionar los valores de obtenidos de Ca^{+} y Mg^{+} (meq/100 g) (Tabla 5) los más altos fueron los de Rancho San Dimas (7 y 18.6) y los más bajos fueron los del Suelo de bosque (4.4 y 13.4). Mientras que al realizar la mezcla para el propagador (T_1 , T_2 , T_3 y T_4) hubo ausencia de dichos elementos (Figura 18) ya que lo reportado por Santamaría (2016) menciona en sus resultados la presencia de los elementos, más no la disponibilidad para la planta.

Tabla 5. Valores del Calcio, Magnesio en meq/100 g de la muestra de los diferentes suelos.

| | Calcio (Ca^{+}) | Magnesio (Mg^{+}) |
|---------------------|-------------------------------------|--|
| SUELO | | |
| Rancho San Dimas | 7 (meq/100 g) | 18.6 (meq/100 g) |
| Xochitla | 5.2 (meq/100 g) | 15.6 (meq/100 g) |
| Suelo de Bosque | 4.4 (meq/100 g) | 13.4 (meq/100 g) |
| TRATAMIENTOS | | |
| T_1 | ND | ND |
| T_2 | ND | ND |
| T_3 | ND | ND |
| T_4 | ND | ND |
| T_1 Caballaza | T_2 Vacaza | T_3 Mezcla (Caballaza, gallinaza, lirio, vacaza) |
| | | T_4 Lirio |

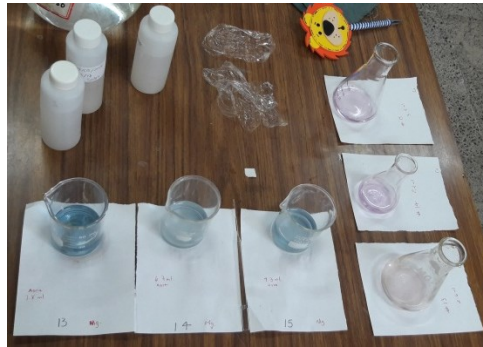


Figura 18. Calcio y Magnesio

f) Porcentaje de Materia Orgánica, Carbono y Nitrógeno

Desde el punto de vista de la fertilidad de suelos tradicionalmente se ha visto a la materia orgánica como un almacén potencial de nutrientes, los cuales luego de su mineralización pueden ser absorbidos por las plantas o absorbidos temporalmente por los coloides del suelo (Henriquez y Cabalceta, 1999).

La materia orgánica que proviene de organismos vivos fosilizados es la que proporciona el poder calorífico, mientras que la mineral, ceniza y azufre por ejemplo, causa emisiones dañinas para el medio ambiente (Lasso, 2004). El nitrógeno es esencial para todos los procesos vitales de las plantas, la carencia del mismo a menudo limita el crecimiento en la naturaleza.

Los valores más altos de materia orgánica, carbono y nitrógeno, fueron los del Suelo de bosque con un 9.66 % de materia orgánica, el segundo es el de Xochitla con 2.07% y siendo el más bajo el de Rancho San Dimas con un 0.86 % al igual que se ve reflejado para el Carbono y Nitrógeno, esto debido a la estrecha relación que existe entre ambos (Tabla 6). En cuanto a la mezcla para la propagación los valores aumentaron en todos los tratamientos debido al alto contenido de materia orgánica del suelo de bosque.

Tabla 6. Porcentajes de materia orgánica, carbono y nitrógeno de los diferentes tipos de suelos en donde estuvo *S. macrophylla*

| | % M.O. | % C | % N |
|---------------------|--------|------|-------|
| SUELO | | | |
| Rancho San Dimas | 0.86 | 0.49 | 0.021 |
| Xochitla | 2.07 | 1.20 | 0.051 |
| Suelo de Bosque | 9.66 | 5.60 | 0.24 |
| TRATAMIENTOS | | | |
| T ₁ | 12.48 | 7.23 | 3.4 |

| | | | |
|----------------|-------|-------|-----|
| T ₂ | 22.21 | 12.88 | 1.9 |
| T ₃ | 14.83 | 8.60 | 3.1 |
| T ₄ | 24.15 | 14.0 | 1.6 |

T₁ Caballaza

T₂ Vacaza

T₃ Mezcla (Caballaza, gallinaza, lirio, vacaza)

T₄ Lirio



Figura 19. Materia Orgánica de los tres tipos de suelo

La velocidad de transformación de la materia orgánica (Michel *et al.*, 2004), depende de su naturaleza física y química, de los microorganismos que intervienen en ella y de las condiciones físico-químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) (Figura 19).

Considerando los resultados obtenidos de Materia Orgánica, Carbono y Nitrógeno del suelo de *S. macrophylla* y haciendo una comparación de estos resultados con los de Santamaría (2016) (Anexo 1) de las compostas que fueron utilizadas para la propagación de la papa de agua (*S. macrophylla*).

La composta orgánica tiene una estructura mucho más compleja, donde los nutrientes forman parte de un entramado en el cual están unidos a otras moléculas, los macronutrientes son los que las plantas necesitan en mayor proporción, ya que constituyen los elementos químicos más abundantes de su composición orgánica. Comparando los resultados de materia orgánica de las compostas de Santamaría (2016) y comparando el crecimiento y propagación de *S. macrophylla* con las compostas que se utilizaron para su propagación, las papas de agua que fueron sembradas con la composta de vacaza obtienen una media de 23.2 cm, para la composta de lirio, *S. macrophylla* tuvo una media de 19.25 cm, ambos tratamientos tuvieron un buen desarrollo en los 0-30 días, a los 45 días las papas de agua que se encontraban en la composta de lirio empezó con la propagación de nuevos tubérculos.

Los suelos ricos en materia orgánica de 4-5 % serán más fértiles que el resto (Smart- fertilizer, 2017), por lo que el sustrato que fue utilizado para la propagación de *S. macrophylla* presenta un 9.66 % de materia orgánica. Los micronutrientes, son necesarios en muy pequeñas cantidades y, por ello, su presencia en las plantas es más reducida que en el caso de los macronutrientes. Sin embargo, tanto unos

como otros son esenciales para el buen desarrollo de las plantas que modulan y facilitan la liberación de los nutrientes y posteriormente la absorción de los mismos por parte de las plantas.

7.2 ETAPA EXPERIMENTAL

7.2.1 PROPAGACIÓN DE LOS TUBÉRCULOS

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis Físico-Químicos del medio de donde se extrajeron los tubérculos (Rancho San Dimas) y del medio de adaptación (Xochitla), el día cero para la propagación, inicia cuando se empezaron a colocar los tubérculos de *S. macrophylla* en los diferentes tratamientos (mezclas), se colocaron 2 tubérculos en cada tratamiento y 2 tubérculos en cada repetición, dando un total de 6 tubérculos por mezcla, posteriormente se tomaron medidas iniciales de los tubérculos como: diámetro del tubérculo, tamaño de hoja, altura de la planta y tamaño de raíz; de los datos que se obtuvieron se seleccionaron dos tubérculos por cada tratamiento para poder obtener una media, el más grande y el más pequeño de cada tratamiento.

Los resultados de las medias de los datos botánicos muestran (Tabla 7) que T₁ (Caballaza) + suelo de bosque, presenta un tubérculo de 1.8 cm de longitud y con una altura de la planta de 27.9 cm, y para los tratamientos de T₂ (Vacaza) y T₄ (Lirio) un tubérculo de 1.7 cm de longitud al igual que la planta con una altura de 30.5 cm y 25.5 cm; para la composta de lirio sin mezcla de Suelo de bosque usado como testigo (T₄) presenta un tubérculo de 1.3 cm, y el tamaño de la planta es de 27.1 cm.

Tabla 7. Medida de los tubérculos día 0.

| Día 0 | | | | | |
|----------------|---------------------------|-------------|-----------|-----------|----------|
| No. | Tamaño del Tubérculo (cm) | Planta (cm) | Hoja (cm) | Raíz (cm) | Ā Planta |
| T ₁ | 1.8 | 27.9 | 5.5 | 28 | |
| T ₁ | 1.6 | 29.9 | 5.3 | 22.2 | 28.9 |
| T ₂ | 1.6 | 26.4 | 4.2 | 21.7 | |
| T ₂ | 1.7 | 30.5 | 3.9 | 36.1 | 28.45 |
| T ₃ | 1.5 | 27.7 | 5.5 | 18.4 | |
| T ₃ | 1.3 | 27.1 | 4.1 | 21.9 | 27.4 |
| T ₄ | 1.7 | 25.5 | 6.5 | 27.6 | |
| T ₄ | 1.4 | 24.6 | 4.7 | 31 | 25.05 |

T₁ Caballaza T₂ Vacaza T₃ Mezcla (caballaza, gallinaza, lirio, vacaza) T₄ Lirio

A los 30 días tenemos un mayor crecimiento de las plantas en los tratamientos de T₁ (Caballaza) + Suelo de bosque de 42 cm de altura y T₃ (Mezcla) + Suelo de bosque con un 38.5cm de altura (Tabla 8),

mientras que el tratamiento con hojas más grandes es el de T₂ (Vacaza) + suelo de bosque, con 6 y 7 cm de largo respectivamente.

Tabla 8. Tamaño de la planta a los 30 y 60 días.

| No. | Día 30 | | | Día 60 | |
|----------------|--------|------|----------|--------|------|
| | Planta | Hoja | Ā Planta | Planta | Hoja |
| T ₁ | 34 | 5.8 | 38 | | |
| T ₁ | 42 | 6 | | 42 | 6 |
| T ₂ | 28.1 | 6 | 31.95 | | |
| T ₂ | 35.8 | 7 | | | |
| T ₃ | 27.8 | 5 | 33.15 | | |
| T ₃ | 38.5 | 5 | | 33 | 4.5 |
| T ₄ | 35.5 | 6.6 | 26.95 | | |
| T ₄ | 26.6 | 4.2 | | | |

T₁ Caballaza T₂ Vacaza T₃ Mezcla (caballaza, gallinaza, lirio, vacaza) T₄ Lirio

7.2.2 CRECIMIENTO Y DESARROLLO DE TUBÉRCULOS

El día cero inicia cuando se empezaron a colocar los tubérculos de *S. macrophylla* en los tratamientos, en la tabla 10 se puede observar que al inicio de la siembra se cuenta con seis tubérculos por tratamiento y presentan una coloración verde en la planta y con una temperatura inicial de 23 °C. Posteriormente a los 15 y 30 días de haber iniciado con la propagación se sigue manteniendo la misma cantidad de tubérculos y la misma coloración verde en la planta, presentándose una variación en la temperatura de 26 y 27 °C.

En el día 40 se observa la presencia de nuevos estolones y posteriormente al día 45 se registraron los primeros tubérculos de *S. macrophylla* en los tratamientos T₁ (Caballaza) y T₄ (Lirio) se encontraron 2 nuevos tubérculos, para el tratamiento T₂ (Vacaza) se encontró 1 tubérculo nuevo y para el tratamiento T₃ (Mezcla) no se encontró ningún tubérculo nuevo.

Posteriormente para el día 60, el 80% de los tubérculos que se encontraban en los tratamientos T₁ (Caballaza) y T₃ (Mezcla) perecieron; de igual manera todos los tubérculos de T₂ (Vacaza) presentaron necrosis en toda la estructura, dando una coloración café en la planta y en algunas de las repeticiones no se encontraron los tubérculos.

Pero para los tubérculos de T₄ (Lirio) se encontró un tubérculo más dando un total de 3 nuevos tubérculos, desde el día 45 hasta el día 60, presentando una coloración verde en toda la estructura de la planta, y con una temperatura de 27 °C (Tabla 9) (Anexo 2).

Tabla 9. Observación de los tratamientos cada 15 días.

| | 0 Días | | | 15 Días | | | 30 Días | | | 45 Días | | | 60 Días | | |
|----------------------|-------------------|----|------|---------|----|------|---------|----|------|---------|----|------|---------|----|------|
| | No. Tb. Iniciales | °C | Col. | No. Tb | °C | Col. | No. Tb | °C | Col. | No. Tb | °C | Col. | No. Tb | °C | Col. |
| T₁ | 6 | 23 | Vr | 6 | 26 | Vr | 6 | 27 | Vr | 8 | 27 | Vr | 2 | 27 | Vr |
| T₂ | 6 | 23 | Vr | 6 | 26 | Vr | 6 | 27 | Vr | 7 | 27 | Vr | 0 | 27 | Cf |
| T₃ | 6 | 23 | Vr | 6 | 26 | Vr | 6 | 27 | Vr | 6 | 27 | Vr | 2 | 27 | Cf |
| T₄ | 6 | 23 | Vr | 6 | 26 | Vr | 6 | 27 | Vr | 8 | 27 | Vr | 9 | 27 | Vr |

T₁ Caballaza **T₂** Vacaza **T₃** Mezcla (caballaza, gallinaza, lirio, vacaza) **T₄** Lirio

De acuerdo con Growmax wáter (2017) el magnesio es el elemento central de la clorofila, esencial para absorber la energía de la luz y convertirla en glucosa. En el caso de la falta de magnesio, las hojas se tornan amarillas a causa de la falta de clorofila, el pigmento que le da el color verde a las hojas (Pérez *et al*, 2001) estas diferencias se observan comúnmente en suelos arenosos de bajos pH. El calcio proporciona a las plantas un tronco y unas hojas más fuertes y cuando una planta sufre deficiencias de calcio se observa, las hojas deformadas y con manchas amarillas/marrones, y raíces que no crecen (Growmax wáter, 2017). Por lo que la necrosis de los tubérculos a los 60 días se dio debido a que las compostas mezcladas con el suelo de bosque no proporcionan estos nutrientes (Tabla 13 del Anexo). Basándonos en los resultados obtenidos de la propagación de *S. macrophylla*, es necesario hacer la siguiente recomendación:

Después de empezar con la propagación de los tubérculos de *S. macrophylla*, es importante agregar a los 45 días, Calcio y Magnesio a la composta de Lirio, ya que es la que presenta mejores resultados como en Materia Orgánica, Carbono, Nitrógeno, y pH; Esto es para poder obtener mejores resultados en la propagación de los tubérculos.

7.2.3 ANALISIS ESTADISTICOS

Se realizó un análisis Kruskal-wallis (William y Wallis, 1952) la prueba es el método más adecuado para comparar poblaciones cuyas distribuciones no son normales. Los valores obtenidos (Figura 20) señalan que no existe diferencia significativa entre el crecimiento de los tubérculos y los tratamientos utilizados para la propagación de *S. macrophylla*.

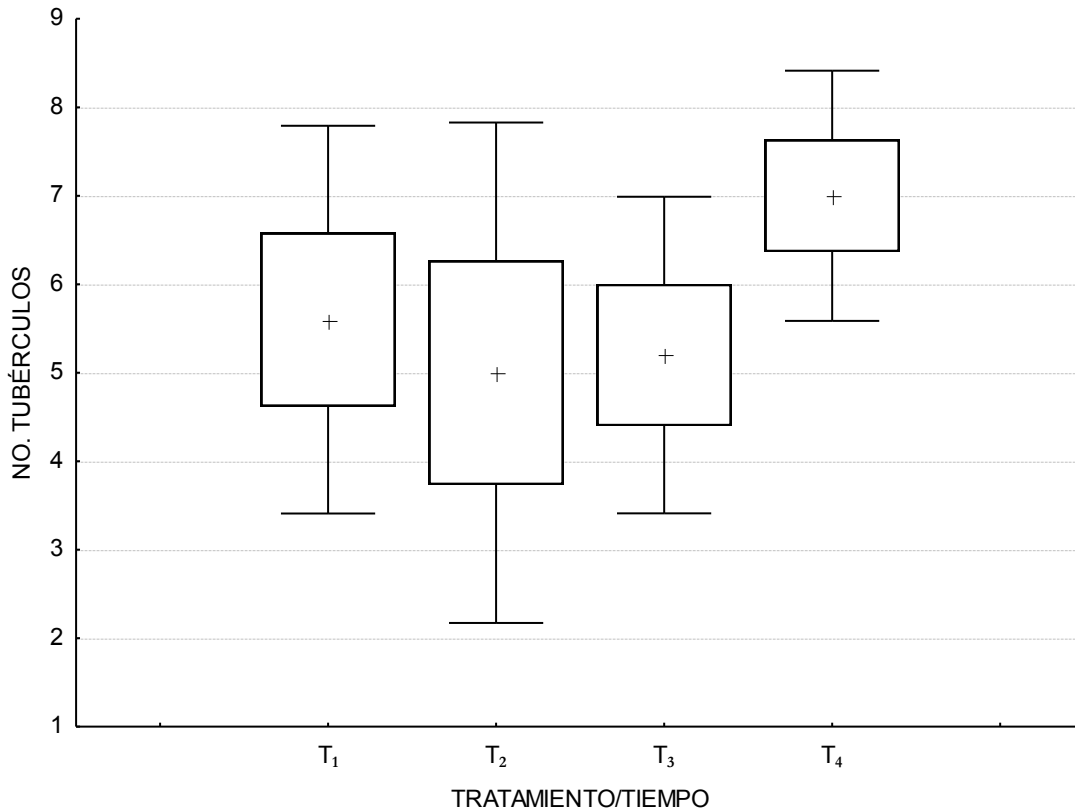


Figura 20. Análisis de Kruskal-wallis

7.2.2 ANÁLISIS DE COSTOS DE PRODUCCIÓN

En cuanto a los costó-beneficio para poder obtener los mayores y mejores resultados al menor esfuerzo invertido de los materiales necesarios para la propagación de *S. macrophylla*, y poder llevar a cabo estos proyectos se requirieron de los siguientes insumos (Tabla 10).

Tabla 10. Costo de insumos para la propagación de *S. macrophylla* con las cuatro compostas.

| INSUMOS | UNIDADES | CANTIDAD DE ARTICULOS | COSTO | SUBTOTAL |
|-----------------------|----------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| Composta de Mezcla | kg | 1 | \$ 74.50 / 10kg | \$74.50 |
| Composta de Vacaza | kg | 1 | \$ 74.50 / 10kg | \$74.50 |
| Composta de Caballaza | kg | 1 | \$ 74.50 / 10kg | \$74.50 |
| Composta de Lirio | kg | 1 | \$ 74.50 / 10kg | \$74.50 |
| Suelo de Bosque | kg | 1 | \$15 / 10 kg | \$15.00 |
| Charolas de plástico | pieza | 12 | \$180 | \$180.00 |
| Termómetro Ambiental | pieza | 1 | \$ 169 | \$169.00 |
| Transporte | - | 2 | \$114 | \$228.00 |
| | | | TOTAL | \$890.00 |

7.2.2.1 COSTOS DE PRODUCCIÓN A LARGO PLAZO

Para seguir realizando este proyecto a futuro, es decir a 2 o 3 años; los costos disminuyen ya que se realiza el primer gasto fuerte en el primer mes, de igual manera se contemplan los costos de agua, (Tabla 11) al igual que se presentan los costos de producción de un tubérculo de *S. macrophylla* (Tabla 12) a los 45 días.

A los 90 días que es cuando la producción de *S. macrophylla* aumenta a 300 tubérculos los costos de producción bajan considerablemente, y las ganancias aumentan.

Tabla 11. Costos de producción en una tina de 610 Lts.

| Material | Costo del material \$ | Días | Tubérculos por Tina | Costo total de Tubérculos producidos \$ |
|-----------------|-----------------------|------|---------------------|---|
| Tina (610 Lt.) | 600.00 | 45 | 100 | 861.30 |
| Agua (Lt.) | 0.03 | 90 | 300 | 18.30 |
| Grava (20kg) | 93.00 | 135 | 400 | 18.30 |
| Composta (10kg) | 75.00 | 180 | 400 | 18.30 |

Conforme vayan avanzando los días de la propagación, los costos de producción de *S. macrophylla* van a ir disminuyendo y la ganancia de cada tubérculo será 18 veces lo que costo producirla.

Tabla 12. Costos de venta

| Días | Tubérculos producidos | Costo Unitario \$ | Tubérculos a vender | Precio de venta por Tubérculos \$ |
|------|-----------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------------|
| 45 | 100 | 8.61 | 0 | |
| 90 | 300 | 0.06 | 100 | 3.00 |
| 135 | 400 | 0.05 | 200 | 2.00 |
| 180 | 400 | 0.05 | 200 | 2.00 |

8. CONCLUSIONES

1. El tiempo en el que se demoró en propagar un tubérculo de *S. macrophylla* fue de 45 días.
2. De acuerdo con los resultados obtenidos de los tratamientos, T4 (lirio) obtuvo los valores más altos de Materia Orgánica, Carbono, Nitrogeno y pH; estos valores fueron los adecuados para la propagación de los tubérculos de *S. macrophylla*.
3. La Densidad aparente (Da) y la Densidad real (Dr) son bajas debido a la Materia Orgánica (M. O.) agregada a cada tratamiento y evita la compactación, a su vez vuelve al suelo más poroso.
4. Debido a la no disponibilidad de Calcio (Ca^+) y Magnesio (Mg^+) en los tratamientos, más del 80 % de los tubérculos de *S. macrophylla* perecieron a los 60 días, debido a que no estaban presentes los nutrientes que las raíces necesitaban.
5. No existe diferencia significativa entre el crecimiento de los tubérculos y los tratamientos utilizados para la propagación de *S. macrophylla*.

8. LITERATURA CITADA

- Alcaraz, A. F. 2012. Temperatura, luz, atmosfera, viento. Geobotanica. Universidad de Murcia España, 15 p.
- American Public Health Association (APHA-AWWA-WEF). 1992. Standard methods for the examination of water and wastewater. USA. 521 p.
- Antúnez, A.; Vidal, M.; Felmer, S y González, M. 2015. Riego por Pulsos en Maíz Grano. Rengo, Chile. Instituto de Investigaciones Agropecuarias. Boletín INIA No. 312, 114 p.
- Blanco, D. 2000. Los humedales como hábitat de aves acuáticas. Boletín UNESCO. Uruguay. 217 p
- Bonilla-Barbosa, J. R. 1992. Flora y vegetación acuática vascular de las lagunas de Zempoala, Morelos, México. Tesis de Maestría. Facultad de Ciencias, Universidad Nacional Autónoma de México. México, D.F. 134 p.
- Bonilla-Barbosa, J. R. y B. Santamaría. 2014. Plantas acuáticas exóticas y traslocadas invasoras. *En*: Mendoza, R. y P. Koleff (coords.). Especies acuáticas invasoras en México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. México. 223-247 p.
- Bonilla-Barbosa, J. R. y J. L. Villaseñor R. 2003. Catálogo de la flora del estado de Morelos. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma de Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos. 129 p.
- Bonilla-Barbosa, J. R., N. González y L. Martínez. En prensa. Propagación de plantas acuáticas mexicanas. AGT Editor, S. A. México. 345 p.
- Botánica, 2016. Hipertextos de Botánica Morfológica. Tema 22 <http://www.biologia.edu.ar/botanica/tema22/tema22-multiplicacion-vegetativa.htm>
- Buckman Harry y Brady N.C. 1966. The Nature and Properties of Soils.
- Castellanos. R. J. Z. 1982. La importancia de las condiciones físicas del suelo y su mejoramiento mediante la aplicación de estiércoles. Seminarios técnicos de CIAN. Vol. 7 (8) p.35
- Colón-Quezada, D. 2009. Composición de la dieta de otoño del pato mexicano (*Anas diazi*) en el vaso sur de las ciénegas del Lerma, Estado de México. Revista Mexicana de Biodiversidad 80: 193-202.
- CONABIO y UAEM. 2004. La Diversidad Biológica en Morelos: Estudio del Estado. Contreras-MacBeath, T., J.C. Boyás, F. Jaramillo (editores). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad y Universidad Autónoma del Estado de Morelos. México.
- Domínguez, R.I. y Aguilera, H.N. 1982. Metodología de Análisis Físicos- Químicos del Suelo. Facultad de Ciencias. Departamento de Biología. Universidad Autónoma de México, México D.F. 34 p.
- Escalante, P., A. M. Sada y J. R. Gil. 1996. Listado de nombres comunes de las aves de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad/Sierra Madre. México, D. F. 32 p.

- FAO, 2019. Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la Agricultura. Portal de suelos de la FAO. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Gandoy. B. W. 1991. Manual de Laboratorio para el manejo físico de suelos. Universidad Autónoma de Chapingo. Colección de cuadernos Universitarios. Serie agronómica No. 22 Chapingo. Edo México. p. 173
- Gaudencio Neri V. 2018. Tepotzotlán. Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. www.inafed.gob.mx
- Goijsberg R. G. y A. Aguilar S. 1987. pH del suelo y necesidades cal. SMCS. Publicación No.1 México.
- González-Acevedo, Z. I. y D. Lessmann. 2010. Actas del Taller "Seguimiento de la Contaminación en el Curso Superior del Río Lerma y Aplicación de Tecnologías Limpias en el Tratamiento del Agua". Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ). México. 10 p.
- Growmax wáter. 2017. Nutrientes esenciales en la alimentación de las plantas. <http://growmaxwater.com/blog/es/importancia-del-calcio-y-el-magnesio-en-las-plantas/>
- Henriquez. H. C. y Cabalceta A. G. 1999. Guía práctica para el estudio Introductorio de los suelos con enfoque Agrícola. Asociación Costarricense del Suelo de la Universidad de Costa Rica. Primera Eds. San José Costa Rica p.111
- Humedales. 2013. Hoja técnica de divulgación científica. Instituto de Ciencias Biomédicas. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. 5 p.
- Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI). 2001. Sistema de Información Geográfica del Estado de México. Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática, Aguascalientes, México. 139 p.
- Jackson. M. L. 1982 Análisis químico del suelo. Eds Omega. Barcelona España. 662 p.
- Lasso. S. L. 2004. Lo que la Tierra da el Hombre lo puede mejorar. Agencia Universitaria de Periodismo Científico (Aupec).
- Lot, A., A. Novelo, M. Olvera y P. Ramírez-García. 1999. Catálogo de angiospermas acuáticas de México. Hidrófitas estrictas emergentes, sumergidas y flotantes. Cuadernos del Instituto de Biología 33. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 161 p.
- Martínez-Peña, M. L., A. M. Díaz-Espinosa y O. Vargas. 2012. Protocolo de propagación de plantas hidrófilas y manejo de viveros para la rehabilitación ecológica de los parques ecológicos distritales de humedal. Grupo de Restauración Ecológica de la Universidad Nacional de Colombia y Secretaría Distrital de Ambiente. Bogotá, D. C., Colombia. 184 p.
- Michel, F. C., J. A. Pecchia y J. Rigot. 2004. Mass and nutrient losses during the composting of dairy manure amended with sawdust or Straw. *Compost Sci. Util.* 12(4): 323-334 p.
- Miranda, A. M. G. 2014. El género *Sagittaria* en el Códice Florentino. *Elementos* 94: 45-48 p.

- Munsell. 1992. Munsell Color Charts Munsell U.S.A. Color Co.
- Novelo, A. 2003. Alismataceae. Flora del Bajío y de regiones adyacentes. Instituto de Ecología, A. C. Pátzcuaro, Michoacán, México. Fascículo 111. 23 p.
- Osorio, N.W. 2012. pH del Suelo y Disponibilidad de Nutrientes. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal. Volumen 1 No. 4
- Pérez Z. F., Scandaliaris J., Villegas R., Fadda G. 2001. Efecto de la fertilización fosfórica sobre los niveles productivos de caña de azúcar en Tucumán. Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica (LACS) Numero 12
- Pizarro, J., Moran A. y Morales N. 2016. Agriculturers. Importancia de Calcio y Magnesio en las plantas. <https://agriculturers.com/la-importancia-del-magnesio-para-tus-plantas/>
- Reyes, C. P. 1978. Diseño de experimentos aplicados. Trillas. México, D. F. 344 p.
- Rodrigues, M. 2012 Importancia de la densidad aparente. Obtenido de <http://www3.ucn.cl/FacultadesInstitutos/laboratorio/dapT3.htm>
- Rzedowski, G. C. de y J. Rzedowski. 2001. Flora Fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán. 1406 p.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Primera Edición digital. México, D. F. 505 p.
- Sahagún, B. 1926. Códice Florentino. Talleres Gráficos del Museo Nacional de Antropología, Historia y Etnografía. México, Libro XI. 186 p.
- Santamaría, A. B. 2016. Manejo de *Eichhornia crassipes* (C. Mart.) Solms (Pontederiaceae), especie acuática invasora para la elaboración de abono orgánico. Tesis de Maestría en Manejo de Recursos Naturales. Centro de Investigaciones Biológicas, Universidad Autónoma del Estado de Morelos. Cuernavaca, Morelos, México. 83 p.
- Santelices R.1998. Efecto de la temperatura del substrato sobre el arraigamiento de estacas de canelo (*Drimys winteri* J.R. et G. Forster). Ingeniero Forestal, Universidad Católica del Maule, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Escuela de Ciencias Forestales. 6 p.
- Saunders, G. B. y D. C. Saunders. 1981. Waterfowl and their wintering grounds in Mexico, 1937-1964. Washington, D. C., U. S. Fish and Wildlife Service (resource publication 138). 151 p.
- Sculthorpe, C. D. 1967. The biology of aquatic vascular plants. Edward Arnold. Londres, Reino Unido. 610 p.
- Secretaría de Desarrollo Urbano. 2015. Localización Municipal. Planes Parciales de Desarrollo de Rancho San Dimas. Gobierno del Estado de México. 1 p.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010, Protección ambiental-Especies nativas de México de flora y fauna

- silvestres-Categorías de riesgo y especificaciones para su inclusión, exclusión o cambio-Lista de especies en riesgo. México, D. F. 78 p.
- Smart- fertilizer. 2017. 5 Parámetros Importantes en Su Análisis de Suelo. <https://www.smart-fertilizer.com/es/articles/5essential-parameters-crop-management>
- Thompson L, Troeh F. 2002. Los suelos y su fertilidad. Editorial Reverté S.A. Cuarta Edición. P 75-85 .
- Unger, P. y Kaspar, T. 1994. "Soil Compaction and Root Growth: A Review". "Agronomy Journal", vol. 86, september-october 1994. Usa, Agron. J. 86:759-766
- Viesca, G. F. C., S. J. L. Flores, C. A. T. Romero, M. M. Garduño y S. B. Quintero. 2011. El impacto de la desecación de la laguna de Lerma en la gastronomía lacustre de San Pedro Tultepec de Quiroga, Estado de México. *El Periplo Sustentable*. 21: 101-138.
- Webb, M. A., R. A. Ott y C. C. Bonds. 2012. Propagation and establishment of native aquatic plants in reservoirs. *Inland Fisheries Division, Management Data Series*. USA. 273: 1-61.
- William H. Kruskal y W. Allen Wallis. 1952. Use of ranks in one-criterion variance analysis. *Journal of the American Statistical Association* 47 (260): 583–621, December
- World Fertilizer Use Manual. 1992. IFA, París, p 632 .
- Xochitla. 2018. Tipos de vegetación de Xochitla. www.fundacionxochitla.org.mx
- Zar, J. H. 1974. *Bioestatistical analysis*. Prentice Hall. USA. P 620 .
- Zepeda, C. y A. Lot. 2005. Distribución y uso tradicional de *Sagittaria macrophylla* Zucc. y *S. latifolia* Willd. en el Estado de México, *Ciencia ErgoSum* 12: 282-290.
- Zepeda-Gómez, C., A. Lot-Helgueras y D. Madrigal-Urbe. 2012. Florística y diversidad de las Ciénegas del río Lerma, Estado de México, México. *Acta Botánica Mexicana* 98: 23-49.

ANEXOS

ANEXO 1.

Resultados de la Materia Orgánica de Santamaría (2016).

Tabla 13. Análisis de Materia Orgánica, carbono, nitrógeno de las compostas de Santamaría (2016)

| Materiales orgánicos/ Compostas | | | |
|--|-------------------|------------|------------|
| Compostas | Parámetros | | |
| | % M.O. | % C | % N |
| Composta 1 (T1) | 22.77 | 13.21 | 0.57 |
| Composta 2 (T2) | 16.44 | 9.54 | 0.41 |
| Composta 3 (T3) | 37.03 | 21.48 | 0.92 |
| Composta 4 (T4) | 42.55 | 24.68 | 1.06 |
| Composta 5 (T5) | 42.20 | 24.48 | 1.06 |

T1= Composta de *Eichbornia crassipes* y calabaza; T2= Composta de *E. crassipes* y gallinaza; T3= Composta de *E. crassipes* con los diferentes excretas; T4 Composta de *E. crassipes*; T5= Composta de *E. crassipes* y vacaza.

Resultados de Calcio (Ca⁺) y Magnesio (Mg⁺) de Santamaría (2016).

Tabla 14 Análisis de Calcio y Magnesio de las compostas de Santamaría (2016)

| MATERIALES | PARÁMETROS (mEq/100 g) | | | |
|----------------------|-------------------------------|---------------|-----------------|--|
| | ORGÁNICOS/COMPOSTAS | Calcio | Magnesio | Ca⁺⁺+Mg⁺⁺ |
| Caballaza (VR1) | 23.52 | 11.76 | | |
| Gallinaza (VR2) | 176.40 | 58.80 | | |
| Lirio acuático (VR4) | 188.16 | 70.56 | | |
| Vacaza (VR5) | 294.00 | 94.08 | | |
| Composta 1 (T1) | | | | 20.78 |
| Composta 2 (T2) | | | | 74.48 |
| Composta 3 (T3) | | | | 41.55 |
| Composta 4 (T4) | | | | 29.01 |
| Composta 5 (T5) | | | | 61.94 |

ANEXO 2.

Figura 21. Imágenes del crecimiento de *S. macrophylla*



S. macrophylla a los 15 días



30 días



A)



B)

A) Tratamientos en el día 45 B) Propagación de los tubérculos de *S. macrophylla* a los 45 días



60 días



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
UAEM

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

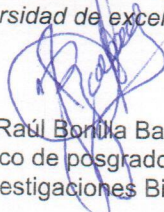
Cuernavaca, Mor., 13 de mayo 2019.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE POSGRADO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“Propagación de *Sagittaria macropylla* zucc. (ALISMATACEAE) planta acuática en peligro de extinción, con abonos orgánicos elaborados a base de lirio acuático”** que presenta la Biol. Landy Miranda González, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia


Dr. Jaime Raúl Bonilla Barbosa
Catedrático de posgrado del
Centro de Investigaciones Biológicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
UAEM

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

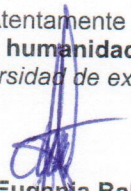
Cuernavaca, Mor., 13 de mayo 2019.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE POSGRADO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“Propagación de *Sagittaria macropylla* zucc. (ALISMATACEAE) planta acuática en peligro de extinción, con abonos orgánicos elaborados a base de lirio acuático”** que presenta la Biol. Landy Miranda González, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia


M. en C. María Eugenia Bahena Galindo
Catedrático de posgrado del
Centro de Investigaciones Biológicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales



CENTRO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
UAEM

Cuernavaca, Mor., 13 de mayo 2019.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE POSGRADO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“Propagación de *Sagittaria macropylla* zucc. (ALISMATACEAE) planta acuática en peligro de extinción, con abonos orgánicos elaborados a base de lirio acuático”** que presenta la Biol. Landy Miranda González, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

Dr. Rogelio Oliver Guadarrama
Catedrático de posgrado del
Centro de Investigaciones Biológicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS

COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales



CENTRO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
UAEM

Cuernavaca, Mor., 13 de mayo 2019.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE POSGRADO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“Propagación de *Sagittaria macropylla* zucc. (ALISMATACEAE) planta acuática en peligro de extinción, con abonos orgánicos elaborados a base de lirio acuático”** que presenta la Biol. Landy Miranda González, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en C. Migdalia Díaz-Vargas
Catedrático de posgrado del
Centro de Investigaciones Biológicas



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL
ESTADO DE MORELOS



CENTRO DE
INVESTIGACIONES
BIOLÓGICAS
UAEM

CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
COORDINACIÓN DE POSGRADO

Maestría en Manejo de Recursos Naturales

Cuernavaca, Mor., 13 de mayo 2019.

DR. RUBÉN CASTRO FRANCO
COORDINADOR DE POSGRADO
DEL CENTRO DE INVESTIGACIONES BIOLÓGICAS
PRESENTE

Por este medio informo a usted que después de revisar el trabajo de tesis intitulado: **“Propagación de *Sagittaria macropylla* zucc. (ALISMATACEAE) planta acuática en peligro de extinción, con abonos orgánicos elaborados a base de lirio acuático”** que presenta la Biol. Landy Miranda González, mismo que constituye un requisito parcial para obtener el grado de MAESTRO EN MANEJO DE RECURSOS NATURALES, lo encuentro satisfactorio por lo que emito mi VOTO DE APROBACIÓN para que el alumno continúe con los trámites necesarios para presentar el examen de grado correspondiente.

Sin más por el momento, quedo de usted.

Atentamente
Por una humanidad culta
Una universidad de excelencia

M. en C. Judith García Rodríguez
Catedrático de posgrado del
Centro de Investigaciones Biológicas